

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБЛАСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУППИРОВОК РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ В ИНТЕРЕСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Введение

Современные системы радиосвязи относятся к классу антропогенных систем большого масштаба, размерности и сложности. Специфика радиосетей, обусловленная нечетко заданными параметрами в условиях обеспечения радиосвязи с подвижными объектами, неопределенности их взаимного положения, подверженностью сигнала значительному числу дестабилизирующих факторов оказывает существенное влияние на изменение взаимосвязей радиоэлектронных средств (РЭС) в определенной электромагнитной обстановке (ЭМО).

При решении задач выделения полос частот для РЭС новых радиотехнологий наземных радиослужб необходима оценка их электромагнитной совместимости (ЭМС) с действующими РЭС.

Детальный учет особенностей различных систем с подвижными объектами в больших территориальных группировках позволит рассмотреть сложную динамику изменения параметров РЭС в реальных условиях, что обусловлено необходимостью повышения эффективности использования освоенных диапазонов радиочастот.

Общая методология оценки ЭМС хорошо известна и широко используется [1]. Вместе с тем, специфика РЭС различных радиослужб обуславливает необходимость внесения некоторых изменений и дополнений. Это, в первую очередь, связано с энергетической пространственной областью, моделирование которой необходимо провести для определения возможного влияния помех на РЭС в заданный период времени по условиям ЭМС с другими РЭС при развертывании или перемещении средств радиосвязи.

Основная часть

Исходя из гетерогенности рассматриваемых систем отдельные средства в группировке РЭС могут иметь функциональные связи друг с другом. Наличие таких связей приводит к тому, что воздействие помех на рецептор i -го радиосредства может вызвать ухудшение его индивидуальных показателей и повлечет изменение качества другого средства, например j -го, имеющего с ним функциональную связь.

Система РЭС новых радиотехнологий наземных радиослужб, построенных по сотовому принципу, включает $N^{(BC)}$ базовых станций БС, для которых заданы тактико-технические характеристики (ТТХ) передающей аппаратуры РЭС. Для каждой i -й БС заданы: координаты установки БС $(\varphi_i^{(BC)}, \lambda_i^{(BC)})$, количество зон обслуживания с центром в точке размещения

БС в границах заданного территориального района $\Omega = \bigcup_{i=1}^S \Omega_{S_i}$, являющегося объединением

S_i подобластей, радиусами $R_{i,s}^{(BC)}$ азимутами границ зон $(\psi_{i,s}^{(1)}, \psi_{i,s}^{(2)})$ и высотами подвеса антенных устройств $H_{i,s}$. Для функционирования БС заданы множества дискретных частот

$$G_{f_{i,s}}^{(BC)} = \left\{ f_{i,s}^{(BC)} \right\}, i = \overline{1, N^{(BC)}}, s = \overline{1, S_i}.$$

Система действующих РЭС включает M типов радиосредств, ГТХ приемной аппаратуры. Для каждого j -го РЭС заданы тип РЭС, координаты точек размещения $(\varphi_j^{(D)}, \lambda_j^{(D)})$ и множество априорно назначенных частот $G_{f_i} = \{f_{a_j}\}$.

Сложность описания реальной ЭМО обусловлена следующими факторами: наличием детерминированной компоненты, основанной на жестком описании всех параметров процесса относительно времени, и наличием случайной компоненты, когда в изучаемом процессе протекают независимые и неуправляемые сопутствующие процессы.

В процессе решения задачи рассмотрена модель, базирующаяся на использовании известных: вероятностной – при условии неопределенности взаимного размещения группировки РЭС в территориальном районе и случайного изменения параметров и других характеристик ЭМО и детерминированной – для учета общего функционирования подвижных и стационарных РЭС в группировках.

Сущность ЭМО заключается в оценке мощностей электромагнитных полей сигналов и помех на входе приемника, которая описывается математической моделью влияния параметров и условий функционирования РЭС.

Мощность помехи, которую создает БС наземных радиослужб на входе приемника действующего РЭС группировки, определена с использованием уравнения радиосвязи [2]:

$$P_{np}(r_i, 0) = \frac{P_{nep} G_{nep} G_{np} \eta_{nep} \eta_{np} g_{nep}(\alpha_{nep}) g_{np}(\alpha_{np}) k_{\Pi} \left(\frac{0,3}{f}\right)^2 \left(\frac{V^2(F_i(r_i), q)}{F_i(r_i)^{-2}}\right)}{16\pi^2} \quad (1)$$

где P_{nep} – мощность передатчика;

η – коэффициент полезного действия (КПД) фидера;

G – коэффициент усиления антенны;

$g(\alpha)$ – диаграмма направленности антенны (ДНА);

α – угол прихода либо излучения помехи относительно оси ДНА;

k_{Π} – коэффициент поляризационной защиты;

f – рабочая частота,

r_i – закон распределения расстояния,

$F_i(r_i)$ – функция распределения расстояния,

$V(F_i(r_i))$ – множитель ослабления,

q – процент времени, в котором определяется недопустимое действие помех на РЭС.

Мощность помехи в (1) состоит из постоянных параметров [2], имеющих детерминированный характер, однако параметр $V^2(F_i(r_i))$ является переменной величиной и ведет себя как функция расстояния от действующего j -го РЭС до i -го РЭС, в пределах зоны обслуживания S_j с заданной функцией плотности размещения РЭС $\rho_{S_j}(x, y), (x, y) \in \Omega_{S_j}$, меняется динамически и поэтому имеет вероятностный характер.

Зона Ω является объединением S_j подобластей $\Omega = \bigcup_{S_j} \Omega_{S_j} \Big| S_{\Omega_{S_i}} \cap \Omega_j = 0;$
 $S_i \neq j; i, j = \overline{1, S}$, где $S_{\Omega_i \cap \Omega_j}$ – площадь области пересечения.

Закон распределения расстояния r_i вычислен с помощью интегрирования плотности распределения по области пересечения области размещения РЭС новых радиотехнологий и

существующих РЭС – области D_i радиусом r_i группировки с центром в точке размещения БС i -го стационарного РЭС $(x_i, y_i) - F_i(r_i) = \rho_{S_i} \int_{D_i(r_i)} dx dy$ [3].

Для каждой зоны обслуживания определена функция распределения расстояния $F_i(r_i)$. Функция распределения расстояния $F_i(r_i)$ случайной величины r_i для зоны Ω_{S_i} использует данные о нормах ЧТР РЭС, расстояниях между РЭС, ориентациях их ДНА, радиуса зоны влияния РЭС, границ области определения случайной величины r_i и задается согласно [4]. Затем осуществляется композиция отдельных законов распределения для всего количества существующих РЭС для зоны Ω_{S_i} .

Для комплексной оценки ЭМС был проведен анализ влияния БС сотовых систем подвижной связи (ССПС) стандарта GSM-900 на средства воздушной радионавигации и посадки специального назначения путем частотно-энергетического анализа и выявления зон, в которых возможно наиболее сильное воздействие непреднамеренных радиопомех (НРП), что позволило повысить эффективность и сокращение объемов дорогостоящих натурных экспериментов на этапе их подготовки.

Анализ проводился для группировки РЭС, включающей передатчики БС ССПС стандарта GSM-900 и средства воздушной радионавигации и посадки специального назначения – приемник дальномерного канала (ДК) бортового оборудования радиотехнической системы ближней навигации РСБН-6С в режимах «Навигация» и «Посадка», а также наземную аппаратуру РСБН.

Для расчетов использованы тактико-технические характеристики исследуемых РЭС. Допускалось, что максимальная плотность размещения БС ССПС находится в центре города или населенного пункта. При этом определялась средняя эквивалентная помеха, которая представляет аддитивную смесь помех от всех РЭС, работающих на одном дуплексном частотном канале (ДЧК) с последующим усреднением. Допускалось также, что летательный аппарат (ЛА) находится над выбранной (опорной) группировкой ССПС, которая расположена в центре города, где плотность БС ССПС максимальна [5].

По результатам расчетов получены зависимости средней мощности помехи от расстояния к опорной группировке ССПС для различных высот полета ЛА, что представлено на рис. 1 и 2. Высоты полета ЛА: 1 – 500 м, 2 – 1000 м, Рдоп – допустимая мощность помехи. Главный лепесток диаграммы направленности (ДН) БС ССПС расположен в направлении ЛА. Максимальная высота полета ЛА – до 10000 м [6], мощность передатчика БС ССПС – 50 Вт, коэффициент усиления антенны – 21 дБ.

На рис. 3 и 4 представлены зависимости средней мощности помехи от расстояния к опорной группировке ССПС для различных высот полета ЛА: 1 – 500 м, 2 – 1000 м, Рдоп – допустимая мощность помехи при условии, что боковой лепесток ДН БС расположен в направлении ЛА. Мощность передатчика БС ССПС – 50 Вт, коэффициент усиления антенны – 21 дБ.

При выбранных исходных данных выполнен расчет реальных зон действия наземных радиомаяков РСБН, в каждой точке которых определена мощность сигнала для различных высот полета ЛА в зависимости от рельефа местности и углов закрытия.

Судя по зависимостям рис. 1 и 2, можно сказать, что средняя мощность помехи оказывается больше допустимого уровня. Таким образом, помеха оказывает влияние на расстояниях от 100 до 200 км в зависимости от высоты полета ЛА, что особенно необходимо учитывать в зоне действия бортовой аппаратуры РСБН в режиме «Навигация», работа которой осуществляется в радиусе 400 км, и в режиме «Посадка», где необходимо учитывать частоты работы БС, которые располагаются в зоне действия инструментальной системы посадки, то есть до 40 км.

Из анализа кривых, представленных на рис. 4 и 3, видно, что при всех исследуемых высотах полета минимально допустимым до БС ССПС является расстояние до 10 км, таким образом, существенное влияние на бортовые и наземные РЭС оказывает ближайшая БС ССПС.

Это значение влияет на точность норм территориального разнеса, следовательно, для расчета выбраны характеристики только отдельной БС.

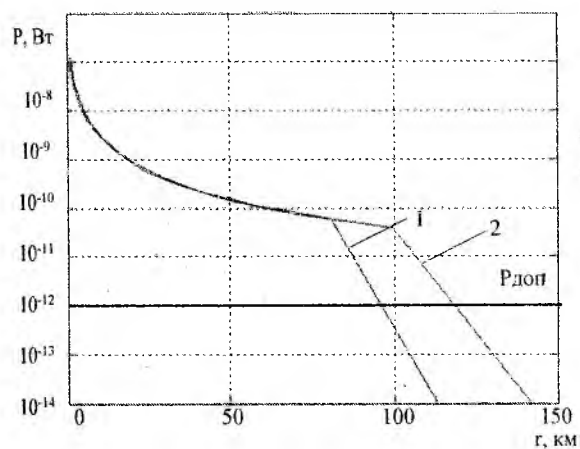


Рис. 1

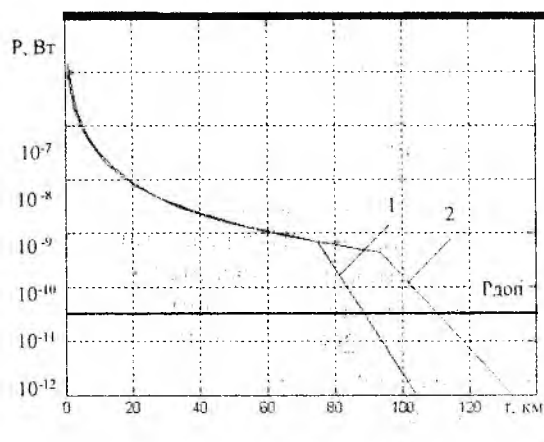


Рис. 2

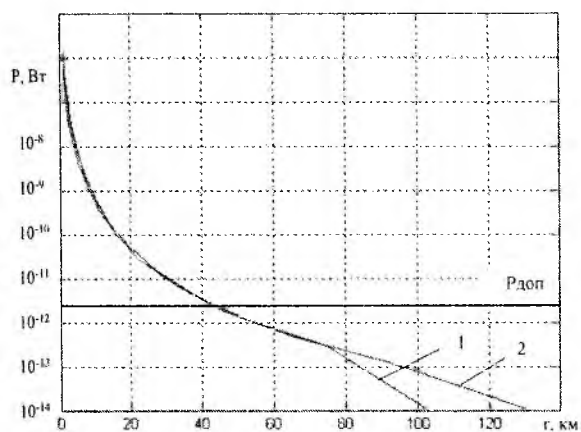


Рис. 3

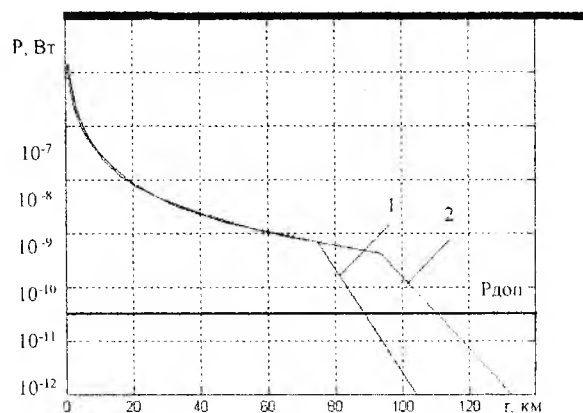


Рис. 4

Заключение

1. В задаче оценки ЭМС и прогнозирования помеховой обстановки возникает необходимость обращения к вероятностно-детерминированной модели, что позволит отказаться от упрощенных моделей для анализа реальной ЭМО.

2. Предложенная модель анализа дает возможность добиться исключения неоднозначности при незначительных изменениях интенсивностей взаимодействия в группировках РЭС при увеличении интенсификации использования электромагнитного ресурса, что невозможно без глубокого изучения закономерностей мешающего взаимодействия одновременно работающих РЭС с высокой плотностью их размещения, неопределенностью их взаимного расположения в больших территориальных группировках.

3. Для увеличения степени детальности рассмотрены конкретные группы РЭС с их параметрами, характеристиками и расположением на местности при исключении условий их изолированности, что позволяет получить более достоверную оценку ЭМС.

4. Рассчитана мощность сигналов БС сети ССПС на выбранной высоте, а также мощность группового воздействия помех, создаваемых БС в полосе частот приемника РСБН с учетом его селективных свойств при заданных исходных данных. Полная мощность помех

одного радиоканала от всех РЭС ССПС, работающих на заданной частоте, зависит от угла места, под которым рецептор помех виден с места расположения этих РЭС.

5. Нормы территориального разнота определены исходя из равенства мощности НРП и допустимой мощности соответствующего приемника. Область ниже допустимой мощности гарантирует бесперебойную работу оборудования РСБН и ССПС. Полученные результаты соответствуют ожидаемым, поскольку при частотном планировании большое количество находящихся во взаимовлиянии РЭС требуют большого объема вычислений.

Список литературы: 1. *Олейник В.Ф.* Теория, методология и методы обеспечения электромагнитной совместимости в системах подвижной связи: Дис. ... д-ра. техн. наук: 05.12.13. / Олейник Владимир Филимонович. Х., 2003. 281 с. 2. *Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем.* Учеб. пособие / Под ред. д.т.н., проф. Быховского М.А. М.: Эко-Трендз, 2007. 376 с. 3. *Методика* расчета вероятностных показателей электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств в условиях неопределенности их взаимного положения / В. А. Журавлева, А. В. Занозин, Т. А. Михайлова и др. // Радиотехника. 2008. № 7. С.90-93. 4. *Методика* детальной оценки загрузки радиочастотного спектра в территориальном районе / И.Г. Ковтунова, А.П. Павлюк, С.А. Цветков и др. // Радиотехника. 2001. № 12. С. 86-90. 5. *Дослідження умов та можливостей експлуатації базових станцій рухомого стільникового зв'язку стандартів DCS-1800 з використанням груп каналів (смуг радіочастот):* Звіт про НДР „Смуга-Центр” (16 етап) / Громадська організація “Центр сприяння розвитку новітніх телекомунікаційних технологій НЦЗІ ЗСУ”. Харків. 2006. 101 с. 6. *Владинов В.Л., Ковалев В.В., Хмуров Н.Н.* Свойства и системы радионавигационного обеспечения ЛА: Учебник для вузов ВВС. М. Военное издательство, 1990., 471 с.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редакцию 25.09.2009